

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-334484

(43)Date of publication of application : 22.12.1995

(51)Int.Cl. G06F 17/00

(21)Application number : 06-130327

(71)Applicant : KOSHIZUKA SEIICHI

(22)Date of filing : 13.06.1994

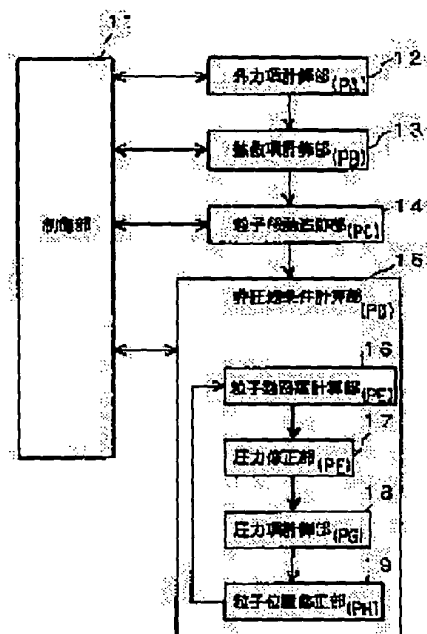
(72)Inventor : KOSHIZUKA SEIICHI
OKA YOSHIAKI
TAMAKO HIROAKI

(54) DEVICE AND METHOD FOR ANALYZING FLOW

(57)Abstract:

PURPOSE: To quickly and highly accurately execute flow analysis for a broken wave or the like which has been unanalyzable by a simple method using a non-statistic particle method capable of analyzing a normal macro flow and expressing physical processes (a diffusion term, a pressure term and an incompressible condition) controlling a flow by inter-grain interaction.

CONSTITUTION: Fluid is expressed as the assembly of particles, and physical processes such as diffusion term, a pressure term and an incompressible condition controlling a flow are respectively calculated by a diffusion term calculating part 13, a pressure term calculating part 18 and a non-compression condition calculating part 15, and interaction between equivalent particles is led out to analyze the movement of fluid.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.06.1994

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 14.01.1997

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-334484

(43) 公開日 平成7年(1995)12月22日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 17/00

9069-5L

G 0 6 F 15/20

D

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-130327

(22) 出願日 平成6年(1994)6月13日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成5年12月28日、
日本学術会議力学研究連絡委員会発行の「第43回応用力
学連合講演会講演予稿集」に発表

(71) 出願人 594098535

越塚 誠一

茨城県那珂郡東海村白方91東大やよい宿舍
201号室

(72) 発明者 越塚 誠一

茨城県那珂郡東海村白方91東大やよい宿舍
201号室

(72) 発明者 岡 芳明

茨城県那珂郡東海村白方91東大やよい宿舍
103号室

(72) 発明者 玉古 博朗

茨城県日立市西成沢町1-3-8 青雲寮
904号室

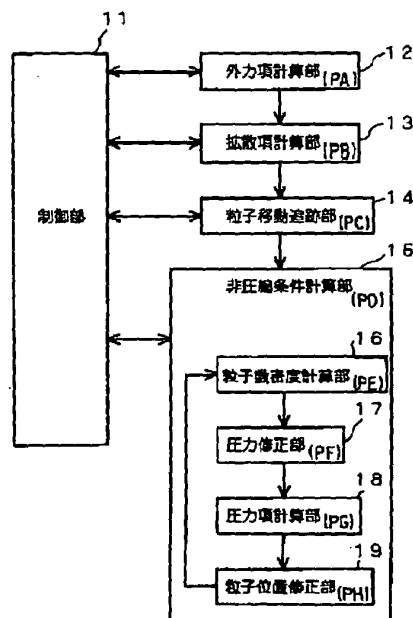
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 流動解析装置及び流動解析方法

(57) 【要約】

【目的】 通常のマクロな流れが解析できるような非統計的な粒子法を用いて、流動を支配する物理過程（拡散項、圧力項、非圧縮条件）を粒子間相互作用で表現し、これを用いた簡単な計算手法によって、これまで解析不可能であった碎波等の流動解析を短い時間で高精度に行う。

【構成】 流体を粒子の集まりで表現し、流動を支配する拡散項、圧力項および非圧縮条件の物理過程について、それぞれ拡散項計算部13、圧力項計算部18および非圧縮条件計算部15によって等価な粒子間の相互作用を導き出し、流体の動きを解析する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 流体を粒子の集まりで表現し、それらの粒子の挙動を計算することで流体の動きを解析する粒子法を用いた流動解析装置であって、

粒子の持つ物理量を周囲の粒子に分配することで拡散項を計算する拡散項計算手段と、

粒子間の圧力差から勾配ベクトルを求め、これを重み平均することで粒子位置での圧力項を計算する圧力項計算手段と、

粒子数の密度を一定にする陰的な計算により非圧縮条件を満たす非圧縮条件計算手段とを具備し、

$$\Delta f_{i \rightarrow j} = \frac{2d\nu\Delta t}{\lambda} \frac{2}{n_i + n_j} w(|r_j - r_i|) f_i \dots (1)$$

ここで、d：空間の次元

ν ：拡散係数

$W(r)$ ：内挿関数

λ ：内挿関数の規格化パラメータ

f_i, f_j ：粒子i, 粒子jの流速成分

r_i, r_j ：粒子i, 粒子jの座標ベクトル ※

$$P_i' = \alpha (n_i^* - n_i^0) \dots (2)$$

ここで、 P_i' ：粒子iの圧力修正値

n_i^* ：粒子iの位置における粒子数密度

n_i^0 ：粒子iの位置において一定とすべき粒子数密度

α ：修正係数

$$(VP)_i = \sum_j \frac{1}{n_j^0} \frac{P_j - P_i}{|r_j - r_i|^2} (r_j - r_i) w(|r_j - r_i|) \dots (3)$$

ここで、 $(\nabla P)_i$ ：粒子iの圧力勾配ベクトル

P_i, P_j ：粒子i, 粒子jの圧力

これらの物理過程について等価な粒子間の相互作用を導き出し、流体の動きを解析するようにしたことを特徴とする流動解析方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば原子力、機械、航空、船舶、土木、環境等の流動解析を必要とする各分野に広く用いられ、特に流体が分裂飛散するような著しい変形を伴う流動解析に用いて好適な流動解析装置及び流動解析方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば水、空気といった流体の動きを解析するための方法として、格子を用いる方法が一般に知られている。これは、格子法と呼ばれるもので、流体の占める領域を格子で覆い、各格子位置における座標、速度、圧力の変数値を逐次求めていく方法である。この格子法には、使用する格子の種類によって、差分法、有限要素法、境界適合座標法、有限体積法等がある。これらは既に多くの研究がなされ、非圧縮粘性流

2

*上記各計算手段を通じて、流動を支配する上記拡散項、圧力項および非圧縮条件の物理過程を粒子間の相互作用に変換して流動解析を行うことを特徴とする流動解析装置。

【請求項2】 流体を粒子の集まりで表現し、内挿関数を用いて各粒子の物理量を定義し、この関数を用いて流動を支配する拡散項、圧力項および非圧縮条件の物理過程について、

上記拡散項については、下記(1)式に従って粒子の持つ物理量を周囲の粒子に分配することで計算し、

【数1】

※ Δt ：時間刻み幅

n_i, n_j ：粒子i, 粒子jにおける粒子数密度

上記非圧縮条件については、下記(2)式に従って粒子数の密度を一定にする陰的な計算を行い、

【数2】

★上記圧力項については、下記(3)に従って粒子間の圧力差から勾配ベクトルを求め、これを重み平均することで計算し、

【数3】

30 れの解析法としてほぼ確立している。しかしながら、格子を用いることから、流体が常に連続していることが条件となり、例えば砕波や爆発などのように、流体が分裂飛散するような著しい変形を伴う場合には解析できない。

【0003】また、上述した格子法をさらに改善したものとして、流体の変形に従って格子を移動させていくALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian)法、流体の存在率を変数として格子で計算するVOF (Volume of Fluid)法、格子の中に粒子を入れて、流体の存在をその粒子で表現するPIC (Particle in Cell)法といった方法が開発されている。しかしながら、ALE法は小さい動きには対応できるが、流体の大きな変形や分裂や合体には適用できない。VOF法は流体の境界が次第にぼやけてしまい、上記同様、流体の大きな変形や分裂や合体には適用できない。また、PIC法では、流動は従来の格子法により計算し、その答えに従って粒子を動かしていくだけである。したがって、流体の境界ははっきりするが、流体の大きな変形や分裂や合体には適用できない。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、従

3

来、格子法を用いて流体の動きを解析していた。しかしながら、現実には格子法によっても計算できないような複雑な流体の動きが数多く存在する。例えば、自由表面における砕波現象がそのよい例である。こういった問題の計算には、差分法や有限要素法のような、空間を格子で覆う必要のある手法では根本的に困難であり、新しい解析法が求められる。

【0005】ところで、一般に流れの数値解析法には、上述した格子を用いる方法の他に粒子を用いる方法がある。現在、粒子を用いる方法として、分子動力学、DSMC(Direct Simulation Monte Carlo)法、LGA(Lattice Gas Automaton)法等がある。しかしながら、これらの方法は、単純な粒子間相互作用を与え、流れとしてのふるまいは粒子の統計的な挙動として表現されるため、極めて多数の粒子を長時間にわたって計算しなくてはならない。よって、通常のマクロな流れを解析することは現在の最高の計算機をもってしても不可能であり、希薄流体などの限られた対象にしか適用されていない。

【0006】また、統計的な操作を必要としない粒子法として、天文学で用いられているSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法、粉体の解析に用いられているDEM(Discrete Element Method)法等がある。しかしながら、これらの方法に用いられている粒子間相互作用も単純なものであり、限られた分野にしか適用できないものである。

【0007】本発明は上記のような点に鑑みなされたもので、通常のマクロな流れが解析できるような非統計的な粒子法を用いて、流動を支配する物理過程(拡散項、圧力項、非圧縮条件)を粒子間相互作用で表現し、これを用いた簡単な計算手法によって、これまで解析不可能であった砕波等の流動解析を短い時間で高精度に行うことのできる流動解析装置及び流動解析方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の流動解析装置は、流体を粒子の集まりで表現し、それらの粒子の挙動を計算することで流体の動きを解析する粒子法を用いた流動解析装置であって、粒子の持つ物理量を周囲の粒子に分配することで拡散項を計算する拡散項計算手段と、粒子間の圧力差から勾配ベクトルを求め、これを重み平均することで粒子位置での圧力項を計算する圧力項計算手段と、粒子数の密度を一定にする陰的な計算により非圧縮条件を満たす非圧縮条件計算手段とを具備し、上記各計算手段を通じて、流動を支配する上記拡散項、圧力項および非圧縮条件の物理過程を粒子間の相互作用に変換して流動解析を行うことを特徴とする。

【0009】

【作用】上記のような構成によれば、粒子法を用いた流動解析において、流体を粒子の集まりで表現し、流動を支配する拡散項、圧力項、非圧縮条件の物理過程につい

4

て等価な粒子間相互作用を導き出すことができ、これを用いた簡単な計算手法によって、これまで解析不可能であった砕波等の流動解析を短時間かつ高精度に行うことができる。

【0010】

【実施例】まず、理解を容易にするため、本発明の粒子法を用いた流動解析について説明する。粒子法を用いた流動解析とは、流体を粒子の集まりで表現し、それらの粒子の挙動を計算することで流体の動きを解析することである。

【0011】格子を全く用いず、粒子のみを使って流動の解析ができれば、これまで解析できなかった激しい変形を伴う流動や、流体の分裂や合体を伴う流動を計算することができる。しかし、そのためには、流動を支配する3つの物理過程、すなわち、拡散項、圧力項、非圧縮条件を粒子間相互作用で表現しなければならない。そこで、本発明では、拡散項、圧力項、非圧縮条件について、それぞれ等価な粒子間相互作用を導き出せるようなモデルを用意した。

【0012】圧力項モデルでは、2つの粒子の圧力の差から勾配ベクトルを求め、これを重み平均することで粒子位置での圧力項の計算をする。拡散項、非圧縮性を有しない流動は、このモデルだけで計算することができる。また、流動以外の物理現象であっても、粒子法で物理量の勾配ベクトルを計算したい場合には一般的に用いることができる。

【0013】拡散項モデルでは、ある粒子の持っている物理量を周囲の粒子に分配することで計算する。ただし、分配量分布の関数としては任意の関数を選ぶことができるようにし、その際には分配に伴う分散の増加量を解析解のものとは一致させることで計算精度を向上させる。このモデルは、流動以外の物理現象であっても、粒子法で拡散項の計算をしたい場合には一般的に用いることができる。

【0014】非圧縮条件モデルでは、粒子数密度を一定にする陰的な計算を行う。まず、粒子数密度の偏差より圧力修正量を算出する。次に、圧力項モデルによって、圧力修正量から粒子速度を修正し、粒子位置を修正する。その後、再び粒子数密度を計算し、偏差が残っていれば再び圧力修正を行う。これを全ての粒子に対して収束するまで繰り返す。

【0015】以下、図面を参照して本発明の一実施例に係る流動解析装置を説明する。

【0016】図2は同実施例における装置構成を示すブロック図である。本装置は、例えば汎用のパーソナルコンピュータにて構成され、CPU21、メインメモリ22、キーボード(以下、KBと称す)23、CRT表示装置24、ハードディスク装置(以下、HDDと称す)25およびプリンタ装置(以下、PRTと称す)26を有する。

【0017】CPU21は、本装置全体の制御を行うものであり、KB23の入力指示に従ってメインメモリ22をアクセスし、同メモリ22に格納された制御プログラムの起動で流動解析処理を実行する。メインメモリ22には、HDD25からインストールされる各種制御プログラム(PA~PH)を格納するためのプログラム領域22a、同じくHDD25からインストールされる各種パラメータ(DA, DB)を格納するためのパラメータ領域22b等が設けられている。KB23は、データの入力や指示を行うためのものである。CRT表示装置24は、データを表示するためのものであり、ここでは解析結果をシミュレーション表示する際に用いられる。

【0018】HDD25は、本装置による流動解析処理に必要な各種データを保存しておく際に用いられる。この場合の保存データとしては、各種制御プログラム(外力項計算プログラムPA、拡散項計算プログラムPB、粒子移動追跡プログラムPC、非圧縮条件プログラムPD、粒子数密度計算プログラムPE、圧力修正プログラムPF、圧力項計算プログラムPG、粒子位置修正プログラムPH等)の他、計算条件パラメータDA、初期条件パラメータDB、さらに解析結果データDC等がある。これらのデータは流動解析時にHDD25からCPU21にインストールされる。PRT26は、データを印刷するためのものであり、ここでは解析結果を印刷出力する際に用いられる。

【0019】図1は同実施例における流動解析処理を機能的に示すブロック図である。本装置は粒子法により流体の動きを解析するものであり、CPU21による流体解析処理は図1に示すように制御部11、外力項計算部12、拡散項計算部13、粒子移動追跡部14および非圧縮条件計算部15を通じて行われる。

【0020】制御部11は、各計算部12~15を制御する。外力項計算部12は、重力等の粒子に直接働く外力項を計算し、粒子の持つ流速を更新する。拡散項計算部13は、本発明の拡散項モデルに従って拡散項を計算し、粒子の持つ流速を更新する。粒子移動追跡部14は、時間刻み幅の間の粒子の移動を追跡し、粒子の持つ座標位置を更新する。

【0021】非圧縮条件計算部15は、粒子数密度計算部16、圧力修正部17、圧力項計算部18、粒子位置修正部19からなり、粒子数密度を一定にするための非圧縮条件の計算を行う。粒子数密度計算部16は、各粒子位置における粒子数の密度を計算する。圧力修正部17は、本発明の非圧縮条件モデルに従って粒子の圧力を修正する。圧力項計算部18は、本発明の圧力項モデルに従って上記圧力修正部17で修正された圧力によって生じる圧力項を計算し、粒子の持つ流速を更新する。粒子位置修正部19は、上記圧力項計算部18にて計算された流速の修正量に従い、粒子の座標位置を更新する。

【0022】図3は同実施例の流体の動きをシミュレ

ションした結果を示す図である。ここでは、容器に入れた流体(例えば水)の動きをシミュレーションした場合を示している。図3(a)に示すように容器31に入れた流体32を例えば壁33で遮った状態で、その壁33を取り払うと、流体32は同図(b)、(c)に示すような動きをする。

【0023】このような流体32の動きをシミュレーションする場合において、本発明の解析法では、流体32を粒子の集まりで表現し、それらの粒子の挙動を計算することになる。この場合、容器31も粒子の集まりで表現することができる。図中「○」は流体32の粒子、

「●」は容器31の粒子を示している。また、「-」は流速ベクトルを示している。容器粒子の座標位置は固定であり、流速は0である。流体粒子の座標位置および流速は時間と共に変化していく。この変化を計算し、シミュレーションした結果が図3(a)~(c)である。なお、具体的な計算方法については後に詳しく説明する。

【0024】次に、同実施例の動作を説明する。

【0025】図4は同実施例における流動解析処理の動作を示すフローチャートである。ある流体の動きを解析する場合、まず、解析対象となる流体の物性(拡散係数 ν 、流体密度 ρ 等)や収束判定条件などの計算条件パラメータ(DA)を入力すると共に(ステップS1)、粒子の座標位置や流速などの初期条件パラメータ(DB)を入力する(ステップS2)。なお、これらの条件パラメータの入力は図2に示すKB23を通じて行う方法と、予めHDD25に条件パラメータを記憶させておき、そのHDD25から適宜読出して入力する方法がある。

【0026】このようにして入力された条件パラメータは、CPU21に与えられる。これにより、CPU21はメインメモリ22にインストールされた各種プログラム(PA~PH)に従って以下のような流動解析処理を実行する。なお、この流動解析処理の動作については、図1(CPU21における流動解析処理を機能的に示したブロック図)を参照して説明する。

【0027】制御部11は、各計算部12~15を通じて流動解析処理に必要な計算を順次行い、その計算結果に基づいて、初期条件として与えられている粒子の座標位置および流速を更新していく。この場合、制御部11は、まず、外力項計算部12によって重力等の粒子に直接働く外力項の計算を行い、その計算結果に基づいて粒子の持つ流速を更新する(ステップS3)。次に、制御部11は拡散項計算部13によって拡散項の計算を行い、その計算結果に基づいて粒子の持つ流速を更新する(ステップS4)。

【0028】ここで、拡散項の計算に本発明の拡散項モデルが用いられる。本発明では、内挿関数を用いて各粒子の物理量を定義し、この関数を用いて拡散項、圧力項および非圧縮条件の物理過程について粒子間相互作用を導き出している。拡散項モデルでは、下記(1)式に従

って拡散項を計算し、粒子1の持つ流速成分を近傍の粒子jに分配する。

*【0029】

*【数4】

$$\Delta f_{1 \rightarrow j} = \frac{2d\nu\Delta t}{\lambda} \frac{2}{n_1 + n_j} w(|r_j - r_1|) f_1 \dots (1)$$

ここで、d：空間の次元

ν ：拡散係数

$W(r)$ ：内挿関数

λ ：内挿関数の規格化パラメータ

f_1, f_j ：粒子1, 粒子jの流速成分

r_1, r_j ：粒子1, 粒子jの座標ベクトル

Δt ：時間刻み幅

n_1, n_j ：粒子1, 粒子jにおける粒子数密度

次に、制御部11は粒子移動追跡部14によって時間刻み幅の間の粒子の移動を追跡し、粒子の持つ座標位置を更新する(ステップS5)。

【0030】このようにして、粒子の座標位置および流速が更新されると、制御部11は非圧縮条件計算部15によって非圧縮条件の計算を行う(ステップS6～S10)。なお、ステップS6～S10で示される計算処理が陰的な計算と呼ばれる部分であり、この陰的な計算により非圧縮条件が満たされる。

【0031】ここで、流体には、例えば水のような非圧縮性のものと、空気のような圧縮性のものがある。圧縮性流体は圧縮によって密度が変化するが、非圧縮性流体は圧縮によって密度に変化はない。そこで、本発明の非※

$$P_1' = \alpha (n_1^* - n_1^0)$$

ここで、 P_1' ：粒子1の圧力修正値

n_1^* ：粒子1の位置における粒子数密度

n_1^0 ：粒子1の位置において一定とすべき粒子数密度

α ：修正係数

次に、制御部11は上記修正された圧力によって生じる圧力項を圧力項計算部18によって計算し、その計算結果に基づいて粒子の持つ流速を更新する(ステップS8)。

【0035】ここで、この圧力項の計算に本発明の圧力★

$$(VP)_1 = \sum_j \frac{1}{n_1^0} \frac{P_j - P_1}{|r_j - r_1|^2} (r_j - r_1) w(|r_j - r_1|)$$

… (3)

ここで、 $(VP)_1$ ：粒子1の圧力勾配ベクトル

P_1, P_j ：粒子1, 粒子jの圧力

40 ☆【数7】

☆

$$(VP)_1' = \sum_j \frac{1}{n_1^0} \frac{P_j' - P_1'}{|r_j - r_1|^2} (r_j - r_1) w(|r_j - r_1|)$$

… (4)

ここで、 $(VP)_1'$ ：粒子1の圧力修正量勾配ベクトル

P_1', P_j' ：粒子1, 粒子jの圧力修正量

この(4)式により得られた圧力修正量の勾配ベクトル

※圧縮条件モデルでは、粒子数密度が一定であるという条件を課す。

【0032】しかして、制御部11は、まず、粒子数密度計算部16によって各粒子の位置における粒子数密度を計算し(ステップS6)、その計算によって得た粒子数密度が予め初期条件として与えられている収束判定条件を満たしているか否かを調べる。その結果、粒子数密度が収束判定条件を満たしていない場合には(ステップS7のNo)、制御部11はその粒子数密度が一定となるように粒子の座標位置および流速の修正を行う(ステップS8～S10)。

【0033】この座標位置および流速の修正に際し、制御部11は、まず、圧力修正部17によって粒子の圧力を修正する(ステップS8)。この粒子圧力の修正処理が非圧縮条件の計算処理に相当し、ここではその計算に本発明の非圧縮条件モデルが用いられる。非圧縮条件モデルでは、下記(2)式に従って粒子の圧力を修正する。

【0034】

【数5】

… (2)

★項モデルが用いられる。粒子1の圧力修正量が P_1' で与えられ、粒子1の近傍の粒子jの圧力修正量が P_j' で与えられたときの圧力項モデルを下記(3)式に示す。この(3)式において、 P_1 の代わりに P_1' 、 P_j の代わりに P_j' を用いることで、下記(4)式に従って圧力修正量の勾配ベクトルを求める。

【0036】

【数6】

$(VP)_1'$ に $(-\Delta t/\rho)$ を乗じることにより、流速の修正量が得られる。なお、 ρ は流体の密度である。

【0037】しかして、このような圧力項の計算により流速の修正量が求まると、制御部11は粒子位置修正部

19により上記修正量に従って粒子の座標位置を更新する(ステップS10)。これにより、粒子数密度が収束判定条件を満たすと(ステップS7のYes)、制御部11は他の支配方程式の計算を行った後(ステップS11)、上記各計算によって粒子の座標位置や流速等の出力処理を行う(ステップS12)。

【0038】なお、他の支配方程式の計算とは、流れ以外の方程式の計算のことであり、例えば流体の温度、流体に溶けている物質の濃度等を計算することである。通常、流体の動きを解析する場合には、流れだけではなく、流体の温度、濃度等を含めた解析が行われる。この場合、これらの支配方程式中に拡散項が含まれていれば上記拡散項モデルを利用することができ、また、勾配項が含まれていれば上記圧力項モデルを利用することができる。

【0039】以後、上記同様の処理を終了条件を満足するまで、時間刻み幅 Δt だけ時間を更新しながら繰り返し行う(ステップS13、S14)。上記終了条件とは、例えば解析時間あるいは粒子の収束状態等であり、予め計算条件として与えられている。

【0040】このようにして、流体の動きが時間刻み幅 Δt 毎に逐次解析される。その解析結果は、図2に示すCRT表示装置24を通じてシミュレーション表示される。図3にその一例を示す。また、必要に応じて、その解析結果をPRT26により印刷したり、あるいはHDD25に保存することもできる。解析結果をHDD25に保存した場合には、いつでも読出して表示あるいは印刷することができ、さらに、その解析結果から引き続き解析処理を継続して行うこともできる。

【0041】ところで、本発明の粒子法を用いてダム崩壊問題の解析を行った。ダム崩壊問題は、従来の格子法でも、自由表面を解析する特殊なモデルを組み込むことで計算できる。しかしながら、格子法では、流体が自由表面から飛び散るような現象(砕波)を解析することはできない(流体の占める領域を格子で覆うことができないため)。本発明の粒子法では、流体を粒子の集まりと考え、それらの粒子の1つ1つの挙動を計算することから、砕波が生じて何ら問題なく解析を継続することができる。

【0042】なお、既に述べたことであるが、粒子を用いた流れの解析方法には現在幾つかの方法が存在するが、これらの方法に用いられている粒子間相互作用は全て単純なものである。したがって、限られた分野にしか適用できず、通常のマクロな流れを解析することは現在の最高の計算機をもってしても不可能である。本発明では、流動を支配する3つの物理過程、すなわち、拡散項、圧力項、非圧縮条件を粒子間相互作用で表現することで、マクロな流れの解析を短時間に行うことを実現している。

【0043】また、これらの物理過程を粒子間相互作用で表現した各モデル(拡散項モデル、圧力項モデル、非圧縮条件モデル)の1つ1つは、上記実施例で説明した流れの解析に限らず、例えば温度、濃度等の他の物理現象を解析する場合にも適用することができる。

【0044】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、粒子法を用いて流動を支配する拡散項、圧力項、非圧縮条件の物理過程について等価な粒子間相互作用を導き出すことで、流体の動きを解析するようにしたため、これまで解析不可能であった砕波等の流動解析を短い時間で高精度に行うことができる。

【0045】これにより、流動解析を必要とする各分野に対し、今までにない全く新しい解析法を提供することができ、各分野における飛躍的な発展に寄与することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る流動解析処理を機能的に示すブロック図。

【図2】同実施例における装置構成を示すブロック図。

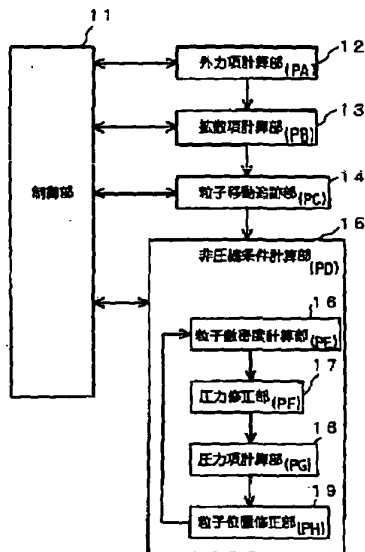
【図3】同実施例の流体の動きをシミュレーションした結果を示す図。

【図4】同実施例における流動解析処理の動作を示すフローチャート。

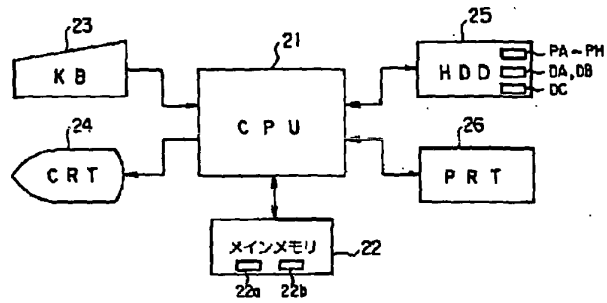
【符号の説明】

11…制御部、12…外力項計算部、13…拡散項計算部、14…粒子移動追跡部、15…非圧縮条件計算部、16…粒子数密度計算部、17…圧力修正部、18…圧力項計算部、19…粒子位置修正部。

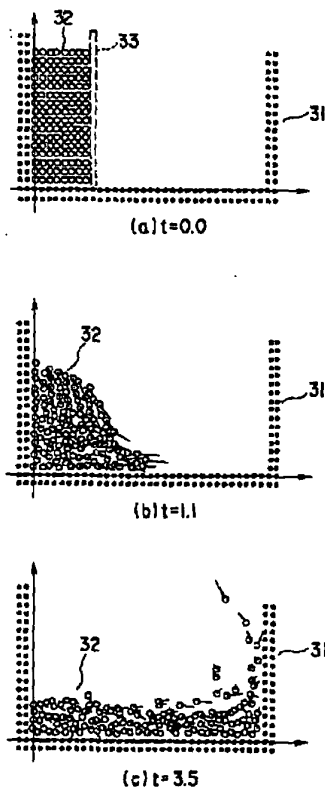
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

